

УДК 681.785.57

К. А. Лукин, докт. физ.-мат. наук
 Институт радиофизики и
 электроники им. А. Я. Усикова
 НАН Украины,
 e-mail: luhin.konstantin@gmail.com,
luhin@ire.kharkov.ua

Д. Н. Татьянко
 e-mail: tatyanko@ukr.net,
tatyanko@ire.kharkov.ua

Ю. П. Мачехин, докт. техн. наук
 Харьковский национальный
 университет радиоэлектроники

СОЗДАНИЕ СЕТОК ОПТИЧЕСКИХ ЧАСТОТ НА ОСНОВЕ МЕТОДА СПЕКТРАЛЬНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Введение. Современное развитие таких областей как волоконно-оптическая связь базируется на спектре оптических частот, расположенных в виде частотной сетки с определенными интервалами между частотными компонентами. Это в первую очередь относится к WDM системам связи (англ.: Wavelength Division Multiplexing - спектральное уплотнение каналов). Для метрологического контроля этих систем, необходимы стандартные оптические частотные интервалы с заданными значениями, которые оговорены международными частотными планами ITU. Т.е. необходимы стандарты частотных сеток. Решить такую задачу природными частотными сетками довольно сложно, поэтому нужно формировать частотные сетки искусственно.

Методы искусственного формирования сетки оптических частот. Искусственное формирование частотных сеток для метрологического обеспечения волоконно-оптических систем связи (как в прочем и для других применений) предлагается осуществить путем трансформации непрерывного частотного спектра в линейчатый (канавчатый) с заданным интервалом между компонентами спектра. Для этого предлагается применить метод спектральной интерферометрии с использованием низкокогерентных источников излучения в инфракрасном диапазоне спектра с привязкой спектральных линий, полученных данным методом, к стабилизированному по частоте когерентному источнику излучения (лазеру).

Теоретическое обоснование применения метода спектральной интерферометрии. Метод спектральной интерферометрии состоит в формировании периодического чередования максимумов и минимумов на оси частот спектра, которые являются следствием линейной интерференции гармонических спектральных составляющих широкополосных случайных сигналов, суммируемых на выходе интерферометра, при условии, что разность плеч интерферометра превышает длину когерентности источника излучения [1-4]. Период этого чередования обратно пропорционален времени запаздывания τ_0 между сигналами, распространяющимися в двух плечах интерферометра. Метод может быть реализован с помощью классического интерферометра Майкельсона (далее интерферометра). Спектр мощности $F_{\Sigma}(f)$ на выходе интерферометра можно записать в следующем виде

$$F_{\Sigma}(f, \tau_0) = 2F(f)\{1 + \cos(2\pi f\tau_0 + \theta)\}, \quad (1)$$

где θ – разность фаз между сигналами плеч интерферометра, f – частота гармонических спектральных составляющих широкополосного случайного спектра оптического излучения.

Источник излучения. Результаты исследований канавчатого спектра, полученного методом спектральной интерферометрии, описаны в литературе по измерениям микро- и нанорасстояний [4-6] в которых использовались низкокогерентные источники излучения с широкой спектральной полосой. Эта область измерений называется низкокогерентной интерферометрией (low-coherence interferometry) или спектральной интерферометрией белого света (white-light spectral interferometry). В этой области измерений, в промышленно выпускаемых измерительных приборах (низко-когерентных томографах, профилометрах и т.д.), а также в научных исследованиях в роли источников оптического излучения обычно используются суперлюминесцентные (superluminescent) светодиоды, различные виды ламп (вольфрам-галогеновые и кварцевые лампы). И те, и другие имеют либо большую стоимость, либо малую спектральную плотность мощности, что является недостатками для решения рассматриваемой задачи создания стабильных и недорогих стандартов оптических частотных сеток.

Для создания оптических частотных сеток, в качестве наиболее перспективных источников излучения, обладающих большой шириной спектра и мощностью, предлагается использовать обычные светодиоды с повышенной яркостью свечения, которые массово выпускаются для решения таких задач, как индикация и локальное освещение. Для проверки метода предложено применить один из подобных светодиодов - InGaAlP светодиод TLRN190P, выпускаемый фирмой Toshiba. Его центральная длина волны излучения - 645 нм, что облегчает выполнение юстирования интерферометра. Ширина спектра излучения на полувысоте составляет 15-18 нм, что достаточно для формирования сетки частот с несколькими периодически расположенными линиями спектра. Излучение на выходе светодиода имеет полный угол расходимости 4^0 . Это позволяет построить интерферометр без коллимирующей оптики, ослабляющей мощность излучения. Производитель характеризует данный тип светодиодов как «LED Lamp» в силу высокой яркости излучения: 19000 микро кандел.

Экспериментальная установка и результаты измерений. Для проверки идеи создания частотных сеток на основе метода спектральной интерферометрии была собран интерферометр на базе светодиода Toshiba TLRN190P (рис. 1).

Зеркало 7 установлено неподвижно и образует с делительной пластиной 3 опорное плечо, а зеркало 4 образует измерительное плечо и может перемещаться благодаря тому, что оно установлено на столе поступательного перемещения 5. При изменении разности плеч интерферометра путем перемещения измерительного зеркала 4 вдоль оптической оси плеча интерферометра, структура спектра излучения светодиода на выходе интерферометра становится периодической при условии, что разность плеч превышает длину когерентности используемого светодиода. При этом период структуры спектра уменьшается с увеличением разности плеч.

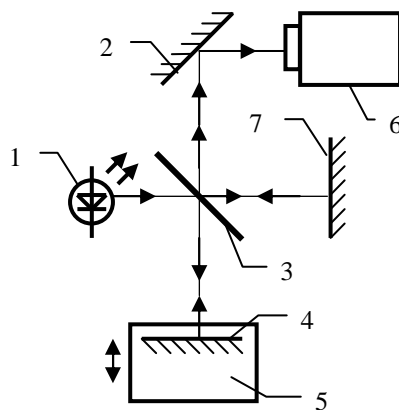


Рис. 1. - Блок-схема экспериментальной установки. Интерферометр Майкельсона.
1 – светодиод Toshiba TLRH190; 2, 4, 7 – зеркала; 3 – светоделительная пластина 50/50;
5 – стол поступательного перемещения с микрометрическим винтом;
6 – спектроанализатор.

Проведенные эксперименты подтвердили, что в том случае, когда разность плеч интерферометра превышает длину когерентности источника излучения, наблюдается интерференция в спектральной области, которая описывается уравнением (1) (рис. 2).

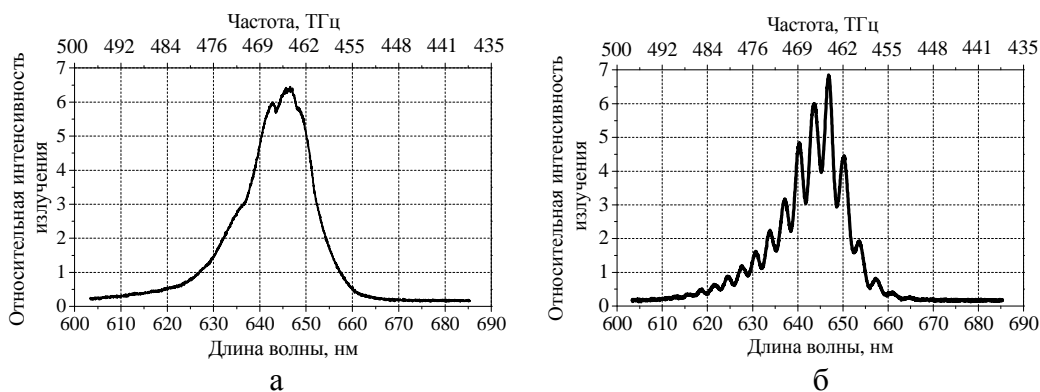


Рис. 2. - Спектр излучения светодиода Toshiba TLRH190P:

- а) на выходе светодиода;
б) на выходе интерферометра Майкельсона, разность плеч которого превышает длину когерентности излучения светодиода.

Изменяя разность плеч интерферометра можно получить последовательность равноудаленных спектральных линий с заданной шириной и интервалом частот между линиями. В качестве примера, на рис. 3 показан экспериментально полученный спектр излучения светодиода Toshiba TLRH190P на выходе интерферометра при разности плеч интерферометра равной 200 мкм.

На рис. 3 интервал между спектральными линиями составляет ~ 1 нм. Это вполне удовлетворяет ITU-T рекомендациям G.694.2 по международному частотному плану CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) систем связи и приближается к ITU-T рекомендациям G.694.1 по международному частотному плану DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) систем связи. В работе, с целью демонстрации применения явления спектральной интерференции для создания оптических частотных сеток, спектральные линии были получены в видимой области спектра. Для реализации частотной сетки в оптических телекоммуникациях необходимо перенести

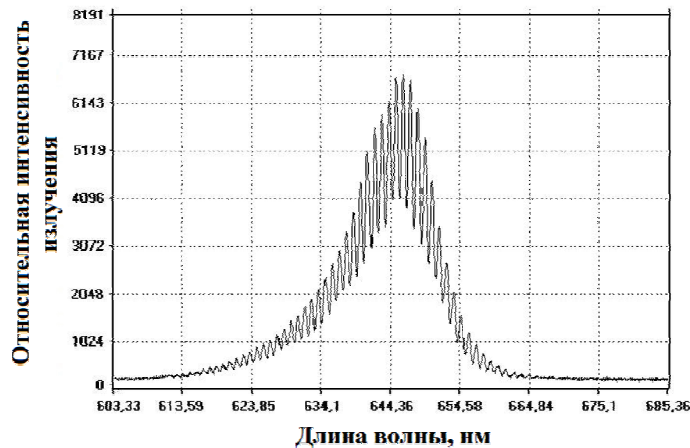


Рис. 3. - Спектр излучения светодиода Toshiba TLRN190P на выходе интерферометра при разности плеч интерферометра равной 200 мкм.

полученный канавчатый спектр в инфракрасную область спектра, используя соответствующий источник оптического излучения.

Так как спектральная плотность каналов WDM систем постоянно растет по мере совершенствования технологий передачи данных, важной задачей при создании стандартов частотных сеток является уменьшение минимально возможного частотного интервала между

периодическими спектральными линиями, который определяется разрешающей способностью измерителя спектра и характеристиками оптических компонент используемых в интерферометре (зеркал, светоделительных элементов и т.п.). В исследуемой установке минимальный интервал между спектральными линиями, определяемый используемым спектроанализатором, т.е. разрешающая способность установки по частоте, равняется ~ 159 ГГц. Если использовать светодиод с длиной волны излучения 1,55 мкм, т.е. длиной волны, применяемой в телекоммуникациях, и соответствующие настройки спектроанализатора, то разрешающая способность будет составлять ~ 87 ГГц, что сопоставимо с интервалами между каналами WDM систем.

Выводы. В работе предложена идея и изучены возможности применения метода спектральной интерферометрии для создания оптических частотных сеток. В результате теоретического анализа и экспериментальной проверки метода оптической спектральной интерферометрии на базе интерферометра Майкельсона сформирована периодическая структура спектра излучения светодиода Toshiba TLRN190P и показана возможность создания частотных сеток данным методом для метрологического обеспечения частотных сеток WDM систем. В дальнейшем необходимо рассчитать аппаратную функцию интерферометра с учетом оптических элементов, форма которой наилучшим образом обеспечила бы форму спектра, требуемую для работы в качестве стандарта сетки частот для волоконно-оптических систем связи.

Работа выполнена при поддержке Международного центра теоретической физики (The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Триест, Италия) и УНТЦ проекта № 3377.

Литература

1. К.А.Лукин. Шумовая радарная технология // Радиофизика и электроника. - Харьков: Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины.-1999.-4, №3.- С.105-111.
2. В. В. Кулик, К. А. Лукин, В. А. Ракитянский. Модификация метода двойной спектральной обработки шумовых сигналов // Укр. метрологический журнал. - 1997. - 4. - С. 28-32.
3. К.А. Лукин, Ю.П. Мачехин, А.А. Могила, Д.Н. Татьянко, В.М. Бабич, А.С. Литвиненко. Лазерный измеритель расстояний на основе метода спектральной интерферометрии. Прикладная радиоэлектроника, 2010, Том 9, № 2, С. 240-245.
4. К.А. Лукин, Ю.П. Мачехин, М.Б. Данаилов, Д.Н. Татьянко. Применение метода спектральной интерферометрии для измерения микро- и нанорасстояний. // Радиофизика и электроника. – 2011. – Т. 2 (16), № 1, , СС. 39-45.
5. U. Schnell, E. Zimmermann and R. Dändliker. Absolute distance measurement with synchronously sampled white-light channelled spectrum interferometry. Pure Appl. Opt. 4, 1995, pp. 643-651.

6. Lazo M. Manojlović. A simple white-light fiber-optic interferometric sensing system for absolute position measurement. Optics and Lasers in Engineering, 48 (2010) pp. 486–490.

СТВОРЕННЯ СІТОК ОПТИЧНИХ ЧАСТОТ НА ОСНОВІ МЕТОДУ СПЕКТРАЛЬНОЇ ІНТЕРФЕРЕНЦІЇ

К. О. Лукін, Ю. П. Мачехін, Д. М. Тат'янка

Запропонована ідея та вивчені можливості застосування спектральної інтерферометрії для створення оптичних частотних сіток. В результаті експериментальної перевірки методу оптичної спектральної інтерферометрії сформована періодична структура спектру випромінювання світлодіода Toshiba TLRH190P та розглянута можливість створення частотних сіток даним методом для метрологічного забезпечення частотних сіток WDM систем.

CREATION OF OPTICAL FREQUENCIES GRIDS ON THE BASIS OF THE SPECTRAL INTERFEROMETRY METHOD

K. A. Lukin, Yu. P. Machekhin, D. N. Tatyanko

The idea is suggested and capabilities of the spectral interferometry method application for creation of optical frequency grids are investigated. As a result of experimental test of the optical spectral interferometry method the periodic structure of a radiation spectrum of Toshiba TLRH190P light-emitting diode is formed and a possibility of frequency grid creation for metrological support of WDM systems is considered.